

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

REC'D 02 SEP 2003  
WIPO PCT



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**Aktenzeichen:** 102 55 468.4

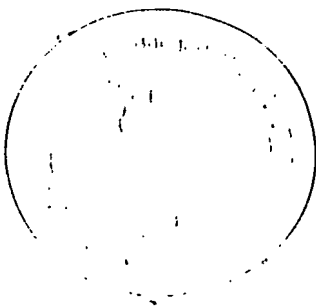
**Anmeldetag:** 28. November 2002

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Rekonstruktion eines Winkelsignals aus dem Sensorsignal eines Drehwinkelsensors

**IPC:** G 01 B 7/30

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**



München, den 18. Juli 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Ebert

5 11.11.2002

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Beschreibung

10

Rekonstruktion eines Winkelsignals aus dem Sensorsignal eines Drehwinkelsensors

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rekonstruktion eines Winkelsignals aus dem Sensorsignal eines Drehwinkelsensors gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie eine entsprechende Drehwinkelsensoranordnung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 6.

20

Drehwinkelsensoren werden in einer Vielzahl von Applikationen eingesetzt, um Winkelstellungen von drehenden Gegenständen zu messen. Üblicherweise werden magnetische oder optische Sensoren verwendet, mit denen eine berührungslose Messung möglich ist. Eine Applikation aus dem Automobilbereich ist z.B. die Ermittlung des Lenkrad- oder Lenkwinkels eines Kfz.

25

30

Fig. 1 zeigt eine aus dem Stand der Technik bekannte Messanordnung zur Messung des Drehwinkels einer rotierenden Achse 1, die in Richtung des Pfeils A gedreht werden kann. Die dargestellte Meßanordnung umfaßt einen an einem Ende der Achse 1 angeordneten Sensor 2 mit einer daran angeschlossenen Auswerteeinheit 4, wobei der Sensor 2 mit einem stationär angeordneten Geber 3 zusammenwirkt. Der Geber 3 umfaßt in diesem Fall einen Dauermagneten, der im Sensor 2 z.B. eine Spannung induziert. Als Sensorelement können beispielsweise Hall-Sensoren, magnetoresistive Sensoren (MR-Sensoren), Magnetotransistoren, etc. verwendet werden.

35

40

Ein typischer Drehwinkelsensor, wie er vielfach für die Erfassung des Lenkradwinkels in einem Kfz verwendet wird, hat beispielsweise die in Fig. 2a dargestellte Kennlinie. Wie zu

5 erkennen ist, umfaßt das Sensorsignal  $\alpha_s$  des Sensors 2 den  
gesamten Meßbereich (z.B. zwischen  $-800^\circ$  und  $+800^\circ$   
Lenkradeinschlag  $\alpha_L$ ), so dass am Ausgang des Sensors 2 bzw.  
der Auswerteeinheit 4 der tatsächliche Lenkradwinkel  $\alpha_L$   
10 ausgegeben wird. Eine Lenkbewegung, wie sie in Fig. 2b mit  
dem Bezugszeichen 6 dargestellt ist, bei der das Lenkrad aus  
der Nullstellung ( $\alpha_L=0^\circ$ ) bis zum Anschlag nach rechts (z.B.  
 $\alpha_L=800^\circ$ ) eingeschlagen und von dort bis zur Nullstellung  
zurückgedreht wird, wird daher vom Sensor 2 eindeutig  
15 abgebildet. Das Sensorsignal 7 ist in der Fig. 2b deswegen  
stufenartig dargestellt, weil es sich in diesem Beispiel um  
ein digitalisiertes Signal 7 handelt.

Das Sensorsignal 7 kann von weiteren im Fahrzeug angeordneten  
Systemen 4, wie z.B. von einem Fahrdynamikregelungssystem  
20 (z.B. ESP: Electronic Stability Program) weiterverarbeitet  
werden.

Sensoren 2 mit einer über einen großen Messbereich linearen  
Kennlinie haben den Nachteil, dass sie relativ aufwendig  
25 konstruiert und somit teuer sind.

Es ist daher wünschenswert, andere, einfacher aufgebaute  
Standard-Sensoren zur Winkelmessung zu verwenden, die  
insbesondere keine Mittel zur Zählung von vollen Umdrehungen  
und keine Drehrichtungserkennung benötigen. Ein solcher  
Sensor kann beispielsweise aus mehreren MR-Sensorelementen  
realisiert sein.

Die Sensorkennlinie eines solchen Drehwinkelsensors ist  
35 beispielhaft in Fig. 3a dargestellt. Wie zu erkennen ist,  
umfaßt der Meßbereich des Drehwinkelsensors nur einen  
Teilbereich (von  $-p$  bis  $+p$ ) eines Gesamtmeßbereichs für einen  
Drehwinkel  $\alpha_L$ . Für Winkel  $\alpha_L$ , die über den Teilmeßbereich  
(z.B. zwischen  $-120^\circ$  und  $+120^\circ$ ) hinausgehen, wiederholt sich  
40 die Kennlinie 5 des Sensors periodisch. Zwischen den  
einzelnen Perioden der Kennlinie 5, die auch als Segmente S

5 bezeichnet werden können, zeigt die Kennlinie 5 jeweils einen  
Kennliniensprung 8. Umfasst der Teilmessbereich des  
Drehwinkelsensors z.B. Winkel zwischen  $-120^\circ$  und  $+120^\circ$ , so  
werden Drehwinkel  $\alpha_L$ , die in diesem Bereich liegen, eindeutig  
angezeigt. Bei einem Drehwinkel von  $121^\circ$  liefert der  
10 Drehwinkelsensor dagegen ein Ausgangssignal  $\alpha_s$ , welches einem  
Drehwinkel von  $-119^\circ$  entspricht.

Eine Drehbewegung einer Achse, wie sie in Fig. 3b mit dem  
Bezugszeichen 6 dargestellt ist, wird daher zu dem  
15 Sensorsignal 7 führen. Ein solches Sensorsignal 7 kann nicht  
unmittelbar von einer nachgeordneten Einrichtung 4, wie z.B.  
einem Fahrdynamikregelungssystem, verarbeitet werden, da das  
Sensorsignal 7 nicht eindeutig ist.

20 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, aus  
einem Sensorsignal eines Drehwinkelsensors, der eine  
periodische Kennlinie mit mehreren Segmenten aufweist,  
zwischen denen Kennliniensprünge auftreten, ein Winkelsignal  
zu rekonstruieren, das den tatsächlichen Drehwinkel eines  
25 Gegenstandes seit Initialisierung des Sensors eindeutig  
wiedergibt.

Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die im  
Patentanspruch 1 und 6 angegebenen Merkmale. Weitere  
Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von  
Unteransprüchen.

Der wesentliche Gedanke der Erfindung besteht darin, das  
Sensorsignal des Drehwinkelsensors zu überwachen und positive  
35 oder negative Signalsprünge im Sensorsignal zu ermitteln. Bei  
Feststellung eines Signalsprungs wird ein Segmentwert  
erzeugt, der angibt, in welchem Segment der Sensorkennlinie  
der aktuell gemessene Drehwinkel seit Initialisierung des  
Sensors liegt. Aus dem Segmentwert und dem Sensorsignal kann  
40 eine Auswerteeinheit den tatsächlichen Gesamt-Drehwinkel  
(seit Initialisierung des Sensors) in einfacher Weise

5 ermitteln und somit ein eindeutiges Winkelsignal  
rekonstruieren. Somit kann ein besonders einfach aufgebauter  
und damit kostengünstiger Drehwinkelsensor benutzt werden.

10 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden  
die positiven und negativen Signalsprünge im Sensorsignal  
durch Schwellenwertüberwachung der Änderungsrate des  
Sensorsignals ermittelt. D.h., es wird ein Signalsprung  
angenommen, wenn die Änderungsgeschwindigkeit des  
15 Sensorsignals einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.  
Ob es sich um einen positiven (von kleineren Werten zu  
größeren Werten) oder einen negativen (von größeren Werten zu  
kleineren Werten) Signalsprung handelt, kann durch Vergleich  
der vom Drehwinkelsensor gelieferten Winkelwerte in einfacher  
Weise ermittelt werden.

20 Vorzugsweise ist ein Segmentzähler vorgesehen, der bei der  
Initialisierung des Drehwinkelsensors einen vorgegebenen  
Segmentwert SN (z.B. SN=0) enthält und der bei Vorliegen  
eines positiven oder negativen Signalsprungs z.B.  
25 inkrementiert oder dekrementiert wird. Bei einer  
Sensorkennlinie, wie sie in Fig. 3a dargestellt ist, wird der  
Segmentzähler bei Vorliegen eines negativen Signalsprungs  
vorzugsweise um 1 inkrementiert und bei Vorliegen eines  
positiven Signalsprungs um 1 dekrementiert.

Die Auswerteeinheit kann aus dem aktuellen Sensorsignal in  
Verbindung mit dem zugehörigen Segmentwert in einfacher Weise  
das tatsächliche Winkelsignal rekonstruieren. Hierzu addiert  
die Verarbeitungseinheit vorzugsweise einen Winkel zum  
35 Sensorsignal, der eine Funktion des Segmentwertes ist.  
Beispielsweise wird ein Winkel  $SN \cdot \alpha(S)$  zum Sensorsignal  
hinzuaddiert, wobei SN der Segmentwert und  $\alpha(S)$  ein der  
Segmentgröße entsprechender Winkel ist.

40 Eine erfindungsgemäße Drehwinkelsensoranordnung umfaßt einen  
Drehwinkelsensor, der eine periodische Kennlinie mit mehreren

5 Segmenten aufweist, zwischen denen Kennliniensprünge  
auftreten, sowie eine Verarbeitungseinheit die in der Lage  
ist, aus dem Sensorsignal und einem Segmentwert ein  
Winkelsignal zu rekonstruieren, das die tatsächliche  
Drehbewegung einer Vorrichtung seit Initialisierung des  
10 Drehwinkelsensors eindeutig wiedergibt, wobei die  
Verarbeitungseinheit wie vorstehend beschrieben arbeitet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten  
Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

15

Fig. 1 ein Beispiel einer Meßanordnung zur Messung eines  
Drehwinkels einer rotierenden Achse;

20

Fig. 2a die Kennlinie eines aus dem Stand der Technik  
bekannten Drehwinkelsensors;

Fig. 2b das Sensorsignal des Drehwinkelsensors von Fig. 2a;

25

Fig. 3a die Sensorkennlinie eines bekannten Drehwinkelsensors  
mit periodischer Kennlinie;

Fig. 3b das Sensorausgangssignal des Sensors von 3a;

Fig. 4a ein Sensorsignal eines Drehwinkelsensors mit  
periodischer Kennlinie;

Fig. 4b den Zählerstand eines Segmentzählers bei Vorliegen  
des Signals von Fig. 4a;

35

Fig. 4c das rekonstruierte Winkelsignal; und

Fig. 5 ein Flussdiagramm zur Darstellung der wesentlichen  
Verfahrensschritte bei der Rekonstruktion eines Winkelsignals  
aus einem Sensorsignal.

40

5 Bezüglich der Erläuterung der Fig. 1 bis 3 wird auf die Beschreibungseinleitung verwiesen.

Fig. 4a zeigt ein Sensorsignal 7 eines Drehwinkelsensors 2 mit einer periodischen Kennlinie, wie sie in Fig. 3a  
10 beispielhaft dargestellt ist. Die Signalsprünge a-d im Sensorsignal 7 ergeben sich dadurch, dass der tatsächliche Drehwinkel  $\alpha_L$  der Welle 1 über die Teilmessbereichsgrenzen  $-p, +p$  des Drehwinkelsensors 2 hinausläuft. Dies wird im folgenden anhand eines anschaulichen Beispiels näher  
15 erläutert.

Zur Bestimmung des Lenkradwinkels eines Kfz wird beispielsweise eine Anordnung verwendet, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist. Der Drehwinkelsensor 2 ist beispielsweise in  
20 der Lage, Drehwinkel in einem Teilmessbereich von  $-180^\circ$  ( $-p$ ) bis  $+180^\circ$  ( $+p$ ) zu messen. Dieser Teilmessbereich entspricht dem Segment S0 der Sensorkennlinie von Fig. 3a. Drehwinkel, die außerhalb dieses Segments S0 liegen, werden in den gleichen Messbereich abgebildet, wodurch eine eindeutige  
25 Positionsangabe nicht möglich ist. D.h., ein Winkel von  $+185^\circ$  wird denselben Sensorausgangswert erzeugen wie ein Drehwinkel von  $-175^\circ$ .

Läuft die Drehbewegung der Welle 1 zum Zeitpunkt  $t_1$  über die Segmentgrenze  $+p$  hinaus, so vollzieht das Sensorausgangssignal einen Rücksprung a auf den Sensorausgangswert des nächsten Segments S1. Der tatsächliche Drehwinkel  $\alpha_L$  der Achse 1 befindet sich im Zeitabschnitt  $t_1$  bis  $t_2$  also im Segment 1 der Sensorkennlinie von Fig. 3a.  
35

Zum Zeitpunkt  $t_2$  unterschreitet der Drehwinkel  $\alpha_L$  wiederum die Segmentgrenze zwischen dem Segment S0 und S1. Das Sensorsignal springt somit zum Zeitpunkt  $t_2$  (Fig. 4a) auf den Endwert des Segments S0. Dieser positive Signalsprung ist mit dem Bezugszeichen b gekennzeichnet. Zwischen den Zeitpunkten  
40

5 t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub> befindet sich der tatsächliche Drehwinkel daher im Segment S<sub>0</sub>.

Bei weiterem Zurückdrehen der Achse unterschreitet der Drehwinkel dann die untere Segmentgrenze -p des Segments S<sub>0</sub>  
10 und das Sensorsignal 1 springt mit einem positiven Signalsprung c (siehe Kennlinie von Fig. 3a) auf den Endwert des Segments S<sub>-1</sub>. Der tatsächliche Drehwinkel  $\alpha_1$  befindet sich somit im Segment S<sub>-1</sub>.

15 Wird die Drehrichtung der Achse zwischen den Zeitpunkten t<sub>3</sub> und t<sub>4</sub> umgekehrt, und überschreitet der tatsächliche Drehwinkel zum Zeitpunkt t<sub>4</sub> die Segmentgrenze zwischen dem Segment S<sub>-1</sub> und dem Segment S<sub>0</sub>, so erfolgt im Sensorsignal 7 ein negativer Signalsprung d.

20 Das Segment, in dem sich der tatsächliche Drehwinkel (seit Initialisierung des Sensors 2) befindet, wird mit Hilfe eines Segmentwertes SN dargestellt, wie er in Fig. 4b gezeigt ist. Die Drehwinkelsensoranordnung von Fig. 1 umfaßt hierzu einen  
25 Segmentwertzähler, der bei der Initialisierung des Drehwinkelsensors einen vorgegebenen Wert (vorzugsweise 0) aufweist und der in Abhängigkeit davon, ob ein positiver oder ein negativer Signalsprung im Sensorsignal von Fig. 4a auftritt, entweder inkrementiert oder dekrementiert wird.

Ein Signalsprung wird von der Signalverarbeitungseinheit 4 dadurch erkannt, dass die Signaländerungsrate des Sensorsignals einen vorgegebenen Schwellenwert übersteigt. Die Verarbeitungseinheit 4 kann nun in einfacher Weise das in  
35 Fig. 4c gezeigte Winkelsignal 9 rekonstruieren. Hierzu addiert sie zum aktuellen Sensorsignal 7 jeweils das SN-fache einer Segmentbreite, z.B. SN\*360°, wobei SN der Segmentwert ist.

40 Bei dem vorangegangenen Beispiel wurde davon ausgegangen, dass sich die Achse 1 bei der Initialisierung des



5 Drehwinkelsensors 2 in der Nullstellung, also im Segment S0  
befindet. Befindet sich die Achse 1 dagegen in einer  
Winkelposition außerhalb des Segments S0, so muß das  
Winkelsignal 2 noch um diese Abweichung korrigiert werden.  
Der bei der Initialisierung des Drehwinkelsensors 2  
10 vorliegende Offset kann beispielsweise dadurch berücksichtigt  
werden, dass die Achsstellung beim Ausschalten des Sensors 2  
gespeichert wird (vorausgesetzt, die Achse 1 wird bei  
ausgeschaltetem Sensor nicht bewegt).

15 Im Falle eines Lenkradwinkelsensors in einem Kfz, erfolgt die  
Initialisierung des Sensors 2 z.B. beim Einschalten der  
Zündung und das Ausschalten des Sensors 2 beim Ausschalten  
der Zündung. Da beim Ausschalten der Zündung das Lenkrad in  
Parkstellung üblicherweise blockiert ist, entspricht die  
20 Winkelstellung des Lenkrades beim erneuten Einschalten der  
Zündung der Position des Lenkrades beim vorhergehenden  
Ausschalten.

Weitere Maßnahmen zur Erkennung eines Offsets des  
25 Drehwinkelsensors 2, wie beispielsweise die Verwendung eines  
zusätzlichen Sensors, sind ebenfalls denkbar.

Fig. 5 zeigt die wesentlichen Verfahrensschritte eines  
Verfahrens zur Rekonstruktion eines Winkelsignals 9 aus dem  
Sensorsignal 7 eines Drehwinkelsensors 2, der eine  
periodische Kennlinie 3 mit mehreren Segmenten S aufweist,  
zwischen denen Kennliniensprünge 8 auftreten.

Dabei wird in einem ersten Schritt 15 das Sensorsignal 7  
35 eingelesen und in Schritt 16 positive und negative  
Signalsprünge a-d des Sensorsignals 7 erfasst. Bei  
Feststellen eines Signalsprungs in Schritt 17 wird ein  
Segmentwert SN erzeugt, der angibt, in welchem Segment S der  
Sensorkennlinie 3 der aktuell gemessene Drehwinkel  $\alpha_1$  liegt.  
40 In Schritt 18 kann die Auswerteeinheit 4 aus dem Sensorsignal  
7 und dem Segmentwert SN den Gesamt-Drehwinkel seit

- 5 Initialisierung des Sensors 2 ermitteln. Hierzu addiert die Auswerteeinheit 4 beispielweise einen Winkel zu Sensorsignal 7, der eine Funktion des Segmentwertes SN und der Segmentbreite ist.

5 11.11.2002

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

## Bezugszeichenliste

10

1 Achse

2 Sensor

3 Geber

4 Auswerteeinheit

15

5 Sensor-Kennlinie

6 Bewegungsverlauf

7 Sensorausgangssignal

8 Kennliniensprünge

9 Rekonstruiertes Winkelsignal

20

15-18 Verfahrensschritte

S Segment

SN Segmentnummer

 $\alpha_L$  Drehwinkel $\alpha_S$  vom Sensor angezeigter Drehwinkel

25

+p, -p Segmentgrenzen

t1-t4 Zeitpunkte

a-d Signalsprünge

5 11.11.2002

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Patentansprüche

10

1. Verfahren zur Rekonstruktion eines Winkelsignals (9) aus dem Sensorsignal (7) eines Drehwinkelsensors (2), der eine periodische Kennlinie (5) mit mehreren Segmenten (S) aufweist, zwischen denen Kennliniensprünge (8) auftreten, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

15

- Erfassen von positiven und negativen Signalsprüngen (a-d) im Sensorsignal (7),
- Erzeugen eines Segmentwerts (SN) nach Feststellung eines Signalsprungs (a-d), der angibt, in welchem Segment (S) ein aktuell gemessener Drehwinkel ( $\alpha_L$ ) liegt, und
- Rekonstruieren des Winkelsignals (9) aus dem Sensorsignal (7) und dem Segmentwert (SN).

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass positive und negative Signalsprünge (a-d) im Sensorsignal (7) durch Schwellenwertüberwachung der Änderungsrate des Sensorsignals (7) erfasst werden.

25

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Segmentwert (SN) bei Erkennung eines positiven oder negativen Signalsprungs inkrementiert oder dekrementiert wird.

35

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum aktuellen Sensorsignal (7) ein Winkel addiert wird, der eine Funktion des Segmentwertes (SN) und der Segmentbreite ist.

40

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Offset-Korrektur des rekonstruierten Winkelsignals (9) durchgeführt wird.

5

6. Drehwinkelsensoranordnung mit einem Drehwinkelsensor (2), dessen Messbereich nur einen Teilbereich  $(-p,+p)$  des Gesamt-Messbereichs umfasst und der eine periodische Kennlinie (5) mit mehreren Segmenten (S) aufweist, zwischen denen  
10 Kennliniensprünge (8) auftreten, und einer Auswerteeinheit (4), dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (4) derart eingerichtet ist, dass sie positive und negative Signalsprünge (a-d) im Sensorsignal (7) erfasst, nach dem  
15 Auftreten eines positiven oder negativen Signalsprungs (a-d) jeweils einen neuen Segmentwert (SN) ermittelt und aus dem Sensorsignal (7) und dem Segmentwert (SN) ein eindeutiges Winkelsignal (9) rekonstruiert.

20

7. Drehwinkelsensoranordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (4) das Sensorsignal (7) Schwellenwert überwacht, um positive und negative Signalsprünge (a-d) zu erkennen.

25

8. Drehwinkelsensoranordnung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (4) einen Segmentzähler umfaßt, der bei Erkennen eines positiven oder negativen Signalsprungs (a-d) inkrementiert oder dekrementiert wird.

35

9. Drehwinkelsensoranordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (4) jeweils einen Winkel zum Sensorsignal (7) addiert, der eine Funktion des Segmentwerts (SN) und der Segmentbreite ist.

10. Drehwinkelsensoranordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Erkennung eines Offsets bei der Initialisierung der Drehwinkelsensoranordnung (2,4) vorgesehen sind.

5 11.11.2002

ROBERT BOSCH GMBH; 70442 Stuttgart

Zusammenfassung

10

Rekonstruktion eines Winkelsignals aus dem Sensorsignal eines Drehwinkelsensors

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Konstruktion eines Winkelsignals (9) aus einem Sensorsignal (7) eines Drehwinkelsensors (2), der eine periodische, mehrere Segmente (S) aufweisende Kennlinie (5) hat, in der Kennliniensprünge (8) auftreten. Zur Rekonstruktion des Winkelsignals (9) wird vorgeschlagen, positive und negative Signalsprünge (a-d) des Sensorsignals (7) zu ermitteln und bei Feststellung eines positiven oder negativen Signalsprungs (a-d) eine Segmentnummer (SN) zu erzeugen. Eine Auswerteeinheit (4) kann auf der Grundlage der Segmentnummer (SN) und des Sensorsignals (7) das Winkelsignal (9) rekonstruieren.

25

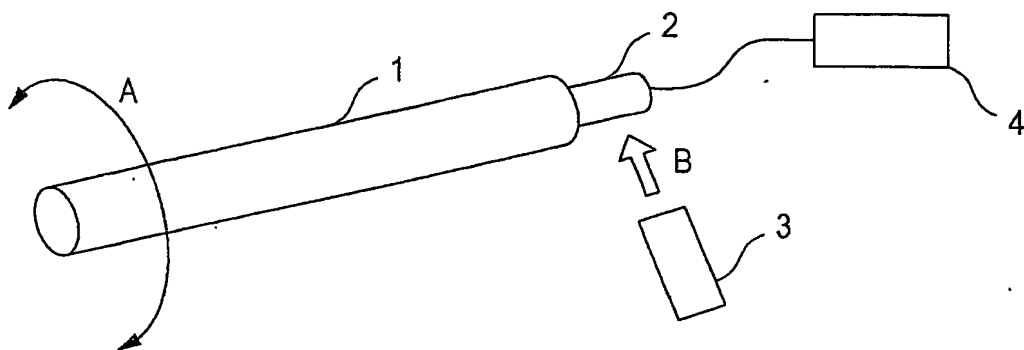


Fig. 1

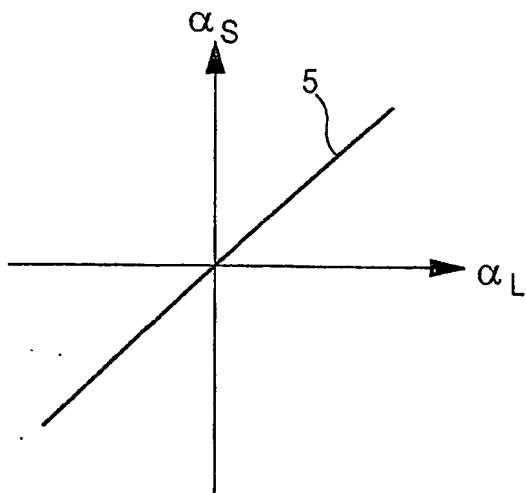


Fig. 2a

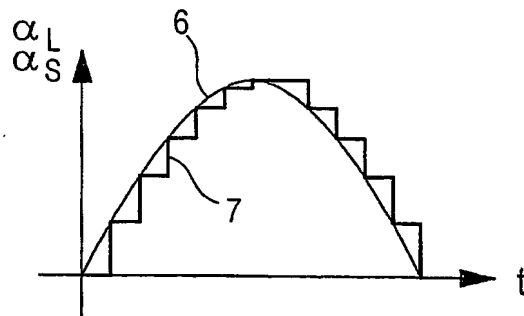


Fig. 2b

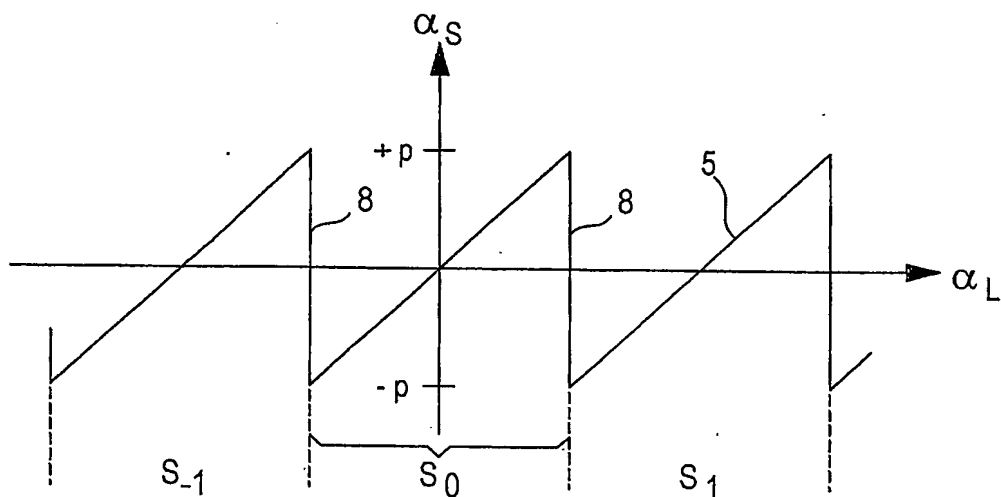


Fig. 3a

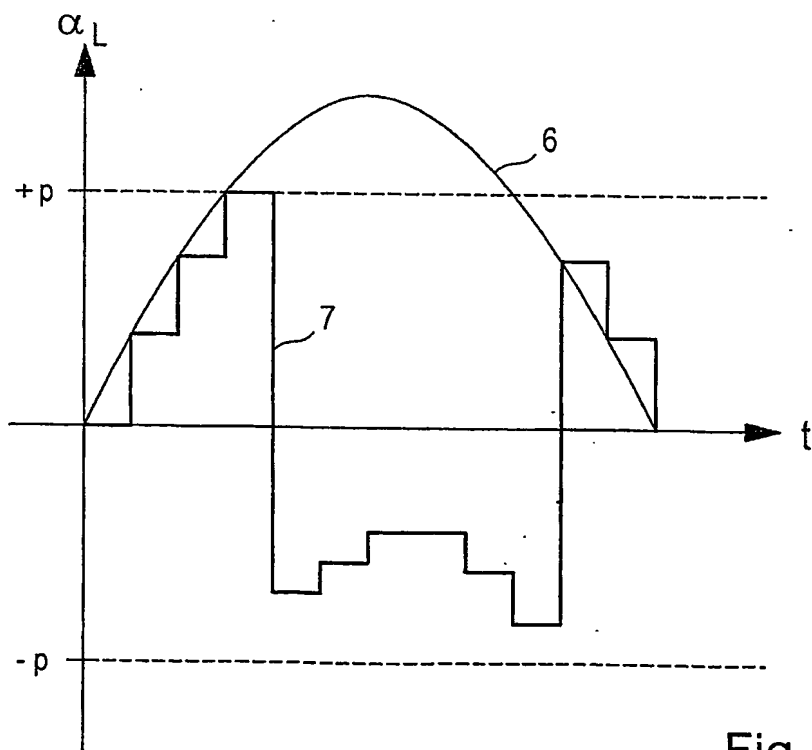


Fig. 3b



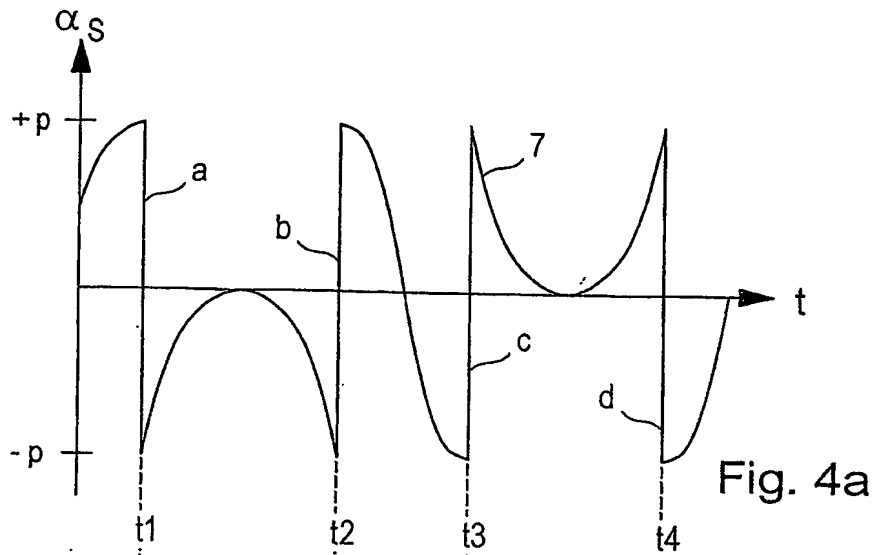


Fig. 4a

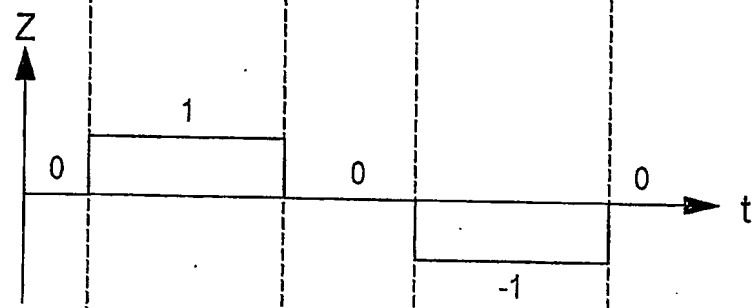


Fig. 4b

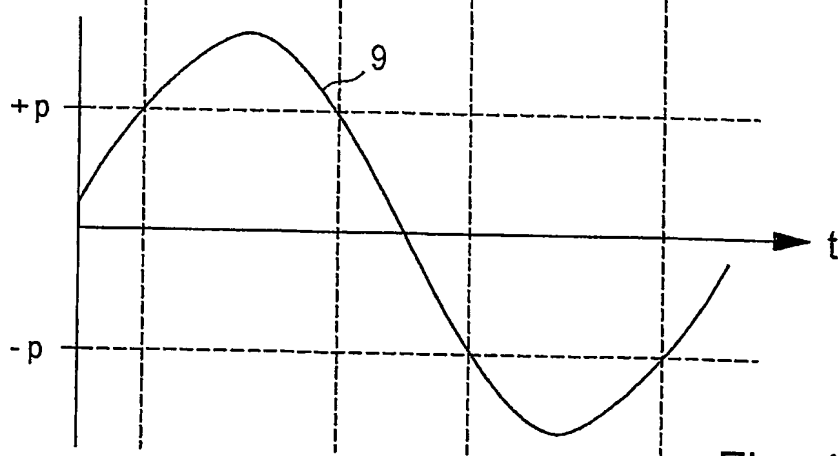


Fig. 4c

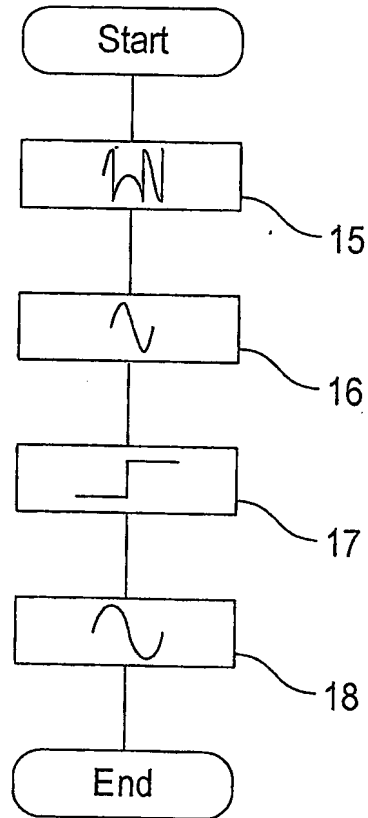


Fig. 5